

적외선 센서를 이용한 초음파 용착부의 마찰열 측정

김원호^a, 강은지^b, 민경탁^{a*}

Temperature Measurement on Ultrasonic Weld Surfaces by Using an Infrared Sensor

Won-Ho Kim^a, Eun-Ji Kang^b, Kyung-Tak Min^{a*}^a Department of Mechanical Engineering, Incheon National University, 119, Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon 22012, Korea^b R&D Center, Yushin Precision Industrial Co., 85, Gaetbeol-ro, Yeonsu-gu, Incheon 21999, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	22	June	2017
Revised	30	June	2017
Accepted	30	June	2017

Keywords:

Ultrasonic welding
Weld temperature
Frictional heat
HAZ
Thin Ni metal sheet
IR Sensor

ABSTRACT

During ultrasonic welding, plastic deformation, elastic hysteresis, and friction generate heat at the contact portions of the two materials to be welded, theoretically analyzing and experimentally measuring the temperature at the welded part are very important for identifying the heat affected zone. However, the welding temperature during ultrasonic welding wherein welding is performed in less than a second is a challenge. We investigated the effects of welding conditions such as welding time, welding pressure, and the ultrasonic vibration amplitude of horns on the temperature of welded surface of a Ni sheet of thickness 0.1 mm. We used a horn with a resonance frequency of 40 kHz and an ultrasonic welder. The temperature was measured using an infrared sensor, and its characteristics were investigated. Experimental results showed that increase in welding time and pressure and ultrasonic vibration amplitude of horns generally caused the increase in surface temperature of the weld.

1. 서론

뿌리 산업 중 하나인 접합기술은 모든 산업에 있어 기본이 되는 생산기반 산업으로 IT, BT, NT 등 다양한 산업분야에 응용된다. 최근 산업구조가 단위부품산업에서 시스템 산업으로 전환되고 규모가 확대됨에 따라 단위부품의 접합을 통한 일체형 부품 제조기술의 필요성이 증대되고 있다. 이에 따라 부품 본연의 특성을 최대한 유지하고 접합부의 결합발생을 최소화하여 접합된 부품 및 제품의 특성을 극대화 시킬 수 있는 기술이 필요하다. 특히, 최근에는 세계적으로도 환경문제가 크게 부각됨에 따라 이산화탄소 배출을 억제하는 규제들의 시행되고 산업분야에서의 에너지 절약이 요구됨에 따라 용접분야에서 초음파를 이용하는 용착은 기존의 용재가

필요한 용융용착과 달리 별도의 용접봉, 열원 등이 불필요하며 접합과정에서 유해광선이나 유해물질이 배출되지 않기 때문에 경제 적이며 친환경적인 기술로 널리 활용되고 있는 추세이다^[1].

재료를 부분적으로 가압하여 접합시키고 냉각시키는 과정에서 재료내부에 온도분포가 불균일하게 된다. 이러한 재료 내부의 불균 일한 온도분포로 인하여 각 위치에서 열팽창이 다르므로 재료 내부에서 열변형 및 열응력이 발생하게 되며, 변형과정에서 소성영역이 생기면서 냉각 후 잔류응력 등이 남게 된다.

초음파용착이 이루어지는 동안 소성변형, 탄성 히스테리시스 및 마찰은 용착되는 두 소재의 접촉부에 열을 발생시키게 되는데, 특히 용착부에서 발생하는 온도를 이론적으로 해석하고 실험적으로 측정하는 것은 열영향부(heat affected zone, HAZ)를 규명하는데

* Corresponding author. Tel.: +82-32-835-8416

Fax: +82-32-835-0793

E-mail address: minkt@inu.ac.kr (Kyung-Tak Min).

매우 중요하다. 그러나, 주로 1 초 이내로 용착이 이루어지는 초음파 용착의 경우 용착온도를 측정하는 것은 아주 어려운 작업 중의 하나여서 이에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

초음파 용착과 관련된 지금까지의 연구동향을 보면 초음파 용착용 혼(horn)의 해석 및 설계에 관한 연구^{2,4)}, 용착시간, 진폭 및 압력조건이 용착성에 미치는 실험적 연구⁵⁻⁷⁾나 혼 및 용착시편의 열발생에 의한 온도분포에 대한 FEM 해석에 대한 연구^{8,9)}가 주로 이루어져 왔으며 실제 온도 측정에 관한 연구는 미미한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 초음파 용착시 용착압력과 용착시간 등의 용착조건에 따른 용착시편에서의 온도를 실험적으로 측정하는 연구를 통하여 용착부에서의 열발생 경향을 규명하고자 한다. 온도 측정 센서는 크게 접촉형과 비접촉형이 있으며 접촉형은 일부 연구에서 열전대(thermocouple)가 사용되기도 하였다. 비접촉식 온도계는 측정대상과 센서를 일정간격으로 분리하여 방사되는 적외선을 계측하여 온도를 계측하는 방법으로 본 연구에서는 비접촉식 온도계를 사용하였다.

실험에 사용된 혼은 40 kHz의 공진주파수를 가지며 용착방법은 동일 소재의 Ni 박판(sheet)를 대상으로 용착 압력과 시간을 변화시키며 용착시편에서의 표면온도 변화를 측정하였다.

2. 초음파용착의 원리

2.1 초음파 금속용착의 기본 원리

초음파 금속용착은 Fig. 1과 같이 용착할 동종 또는 이종 금속 소재를 앤빌(anvil) 위에 설치한 후 혼의 팁에 일정 압력을 가한 상태에서 용착소재에 평행한 방향으로 초음파진동을 가하여 접합이 이루어진다. 초음파의 진동에너지가 혼을 통해 위쪽(top) 금속 소재에 전달되면 금속 접합면에서 기계적인 진동에 의한 마찰과 그에 따른 마찰열이 발생되어 두 금속 소재의 분자 간 물리적인 확산작용(diffusion)으로 강력한 접합이 이루어지게 된다.

초음파 진동에 의하여 초기 표면에 존재하는 불순물과 금속 산화막이 제거되고 금속 접합면의 확산현상으로 인하여 용착되기 때문에 높은 기계적 강도와 전기적 저항이 거의 없는 우수한 전기적 특성을 얻을 수 있다.

2.2 용착부에서의 열발생

초음파 용착과정에서 용착부에서의 소성변형, 탄성 히스테리시스(elastic hysteresis) 및 마찰에 의하여 열이 발생된다. 용착 초기 단계에서 두 용착시편 사이의 마찰과 표면부 요철의 소성변형에 의하여 온도가 급격히 상승하나 그 이후 단계에서는 용접조건과 재료의 성질에 따라 온도가 오르거나 일정온도 유지 혹은 떨어질 수 있다. 적외선 온도계를 이용한 온도 계측 결과 용착시편의 용융

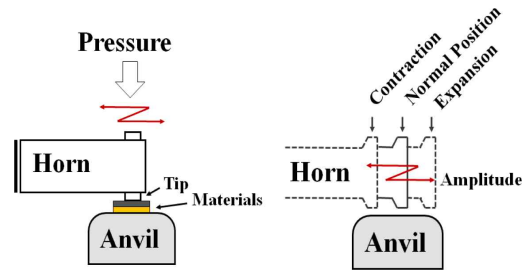


Fig. 1 Schematic mechanism of the ultrasonic welding^[9]

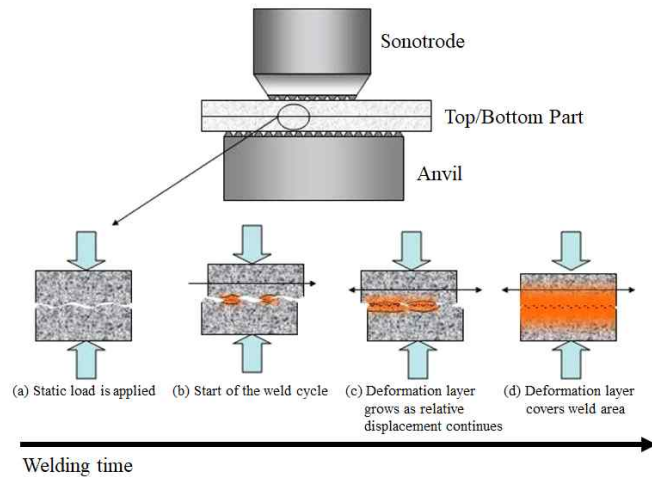


Fig. 2 Weld development and growth of heat sources at the weld interface^[10]

점의 60~80% 범위이며 이와 같은 온도는 용착부 형성에 아주 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 용착시간의 경과에 따른 용착과정을 나타낸 것으로, (b), (c) 과정에서 용착부 불순물이 제거되면서 금속간 접촉이 일어나 용착이 시작되는데, 이때 열이 발생되며 용착소재의 항복응력을 떨어뜨려 용착면적이 점점 증가하고 용착의 최종 단계인 (d)에서 모든 접촉면에서 금속간 접촉이 일어나며 소성변형으로 열발생이 극대화 된다.

3. 온도 측정방법

3.1 시편 및 실험방법

본 실험에 사용된 초음파 금속 용착기는 최대 출력이 800 W이고 진동자의 공진주파수는 40 kHz인 용착기이다. 실험 시편은 두께가 0.1 mm인 니켈(Nickel 200) 박판이며, Fig. 3은 Ni 시편의 도면으로 양 시편 끝의 10 mm 씩을 포개어 용착실험을 수행하였다.

용착온도 측정을 위한 용착조건으로는 Table 1과 같은 용착압력과 용착시간 및 혼의 진동 진폭을 사용하였다. 각 실험조건마다 5 개의 시편을 용착하여 평균 온도를 구하였다.

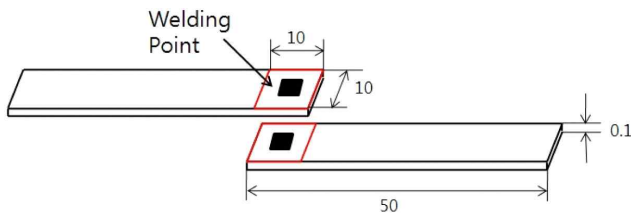


Fig. 3 Welding specimen

Table 1 Welding conditions

Welding Pressure (MPa)	0.2, 0.3
Welding time (sec)	0.1, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30
Horn amplitude (%)	60, 80, 100

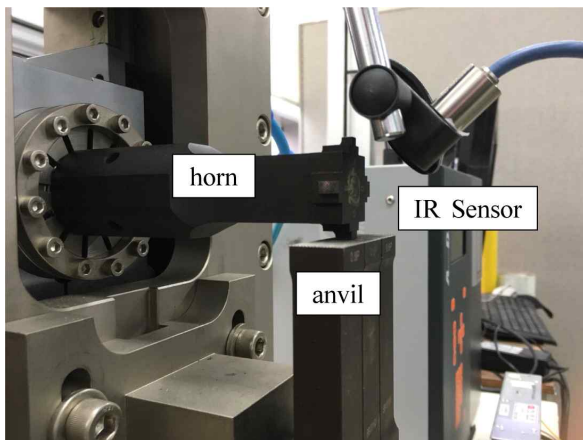


Fig. 4 A photograph of experimental setup

3.2 온도 측정센서

온도센서는 Raytec 사에서 제작된 적외선 센서이며, Comm Box는 MI3MCOMM, 센서 헤드는 LTS10으로 이 센서의 온도 측정 범위는 -40~600°C이며, Spectral Response는 8~14 μm. Optical Resolution D:S=22:1, Response Time는 130 ms이다.

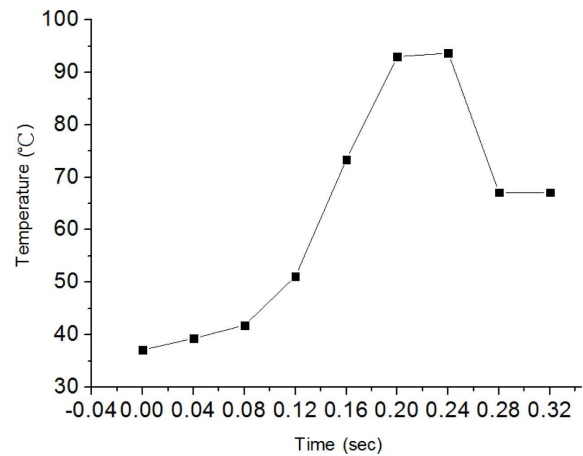
온도측정은 Comm Box로 부터의 출력전압을 받아 Raytec 사의 온도 측정 소프트웨어를 활용하여 직접 측정하고 저장하였다.

실험에 사용된 적외선 온도센서의 설치모습을 Fig. 4에 나타내었다. 센서의 측정초점(spot)이 혼의 팁과 최대한 가깝게, 용착 중인 혼이 초점 범위에 최대한 들어가지 않도록 하였으며 용접부 중심에서 약 20 mm 떨어진 위치에서 상단 시편의 표면온도를 측정하도록 하였다.

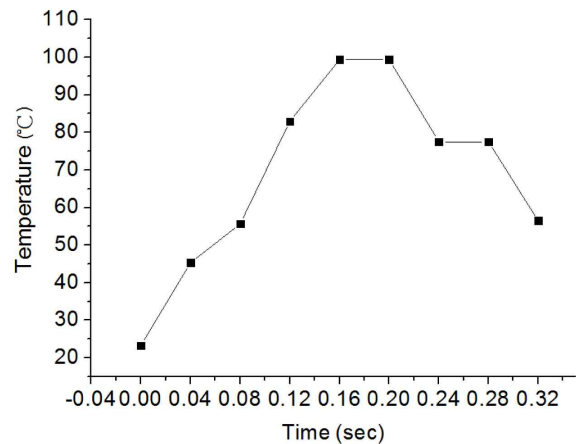
4. 실험결과 및 고찰

4.1 용착시간 경과에 따른 용착부 온도

특정 한 점의 용착 시 전체 용착시간을 0.3 sec, 혼의 진폭을



(a) Welding pressure 0.2 MPa



(b) Welding pressure 0.3 MPa

Fig. 5 Temperature in the weld during 1 spot welding

100%, 용착압력이 0.2 MPa와 0.3 MPa일 때 용착시간 경과에 따른 표면온도 변화를 Fig. 5에 나타내었다.

온도변화의 형태는 유사하나 용착압력이 높을 경우에는 용착 초기부터 온도상승이 용착시간에 거의 비례하여 증가하며, 최고 온도도 약 6°C 높다는 것을 알 수 있다. 또한, 온도 그래프 선의 이랫부분 면적을 보면 0.3 MPa일 때가 훨씬 더 크다는 것을 알 수 있는데 이는 압력의 증가로 용착에너지가 더 커졌다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

또한, Fig. 5에서 0.2 sec 이후에는 온도가 떨어지는데 이는 실제 초음파 용착의 원리 상 혼의 일정 시간동안 가압 진동으로 최대의 용착에너지를 발생시킨 후 혼이 용착 소재로부터 분리되는 시간 주기와 거의 일치하는 것을 보여주고 있다고 판단된다.

한편, 실험에서 측정된 용착부의 온도는 용착부 인근의 표면온도를 측정된 것으로 실제 용착이 일어나는 상하 시편의 용착부에서는 온도가 훨씬 높을 것으로 추정되나 이를 직접적으로 측정할 수 있는 방법에 대한 연구가 앞으로 더 진행되어야 한다고 판단된다.

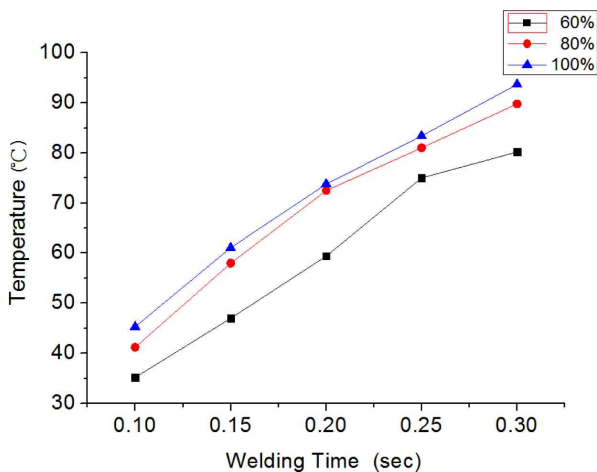
4.2 용착조건 변화에 따른 용착부 온도

용착압력, 용착시간 및 혼의 진폭을 변화시키며 각 용착조건별 용착부의 표면온도를 측정된 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

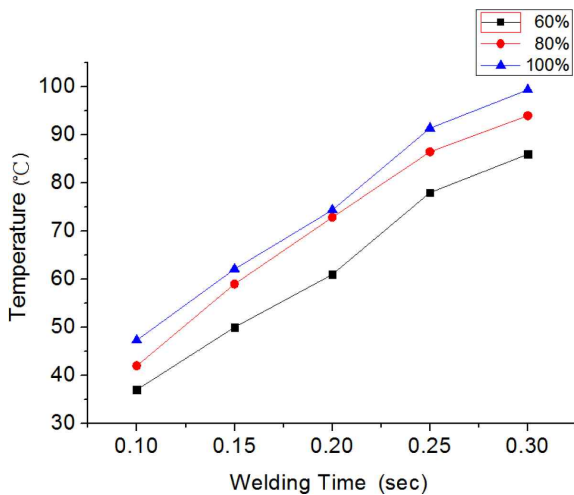
전반적인 온도변화 형태는 용착시간이 증가함에 따라 용착부의 표면온도도 거의 비례하여 증가함을 알 수 있다. 또한, 혼의 진폭이 증가할수록 온도도 증가하나 진폭이 80% 이상이 되면 그 차이는 크지 않음을 볼 수 있다. 이는 실제 초음파 용착을 이용하는 산업현장에서도 거의 80% 진폭을 사용하는 경향을 반영하고 있다고도 볼 수 있는데 일정 진폭 이상의 진폭을 사용하더라도 초음파 용착의 효율성은 크게 높아지지 않는다는 것을 의미한다. 그러나, 전반적 경향으로 볼 때 용착압력이 클수록, 용착시간과 혼의 진동 진폭이 클수록 용착부 온도도 증가한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 용착압력과 혼의 진동 진폭이 용착부 표면온도에 미치는

영향을 나타낸 것으로 용착압력이 클수록 용착온도도 높아지는 것을 알 수 있다. 그러나, 용착시간이 0.2 sec 이하일 경우에는 그 영향이 미미한 것으로 나타나며 용착시간 0.25 sec 이후에는 그

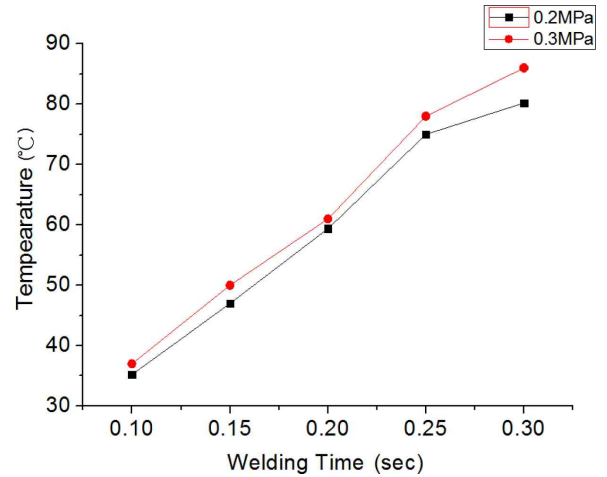


(a) welding pressure 0.2 MPa

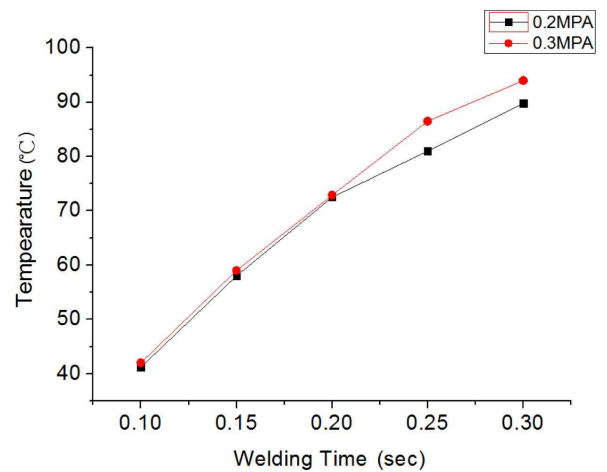


(b) Welding pressure 0.3 MPa

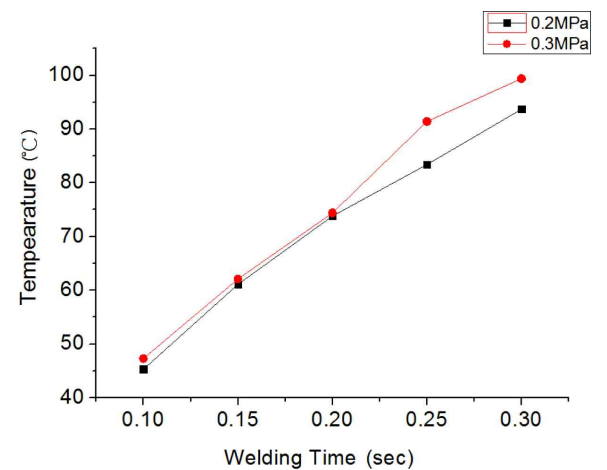
Fig. 6 Temperature variation according to welding conditions, welding pressure, welding time and horn amplitude



(a) Horn amplitude 60%



(b) Horn amplitude 80%



(c) Horn amplitude 100%

Fig. 7 Influences of horn amplitudes and welding pressures on the surface temperature in weld

차이가 비교적 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이는 초음파 용착 시간이 일반적으로 1 sec 이내로 지극히 짧은 시간내에 이루어지지만 용착시간이 과도하게 짧으면 용착압력이나 진동진폭 등의 기타 용착조건이 용착에 큰 영향을 미치지 않음을 보여주는 결과라고 판단된다. 즉, 순간적으로 일어나는 초음파 용착에서 최적의 용착 조건을 찾는 것이 매우 중요하다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

박판의 동일 금속 또는 이종 금속의 초음파 용착에서 주로 사용되고 있는 공진주파수인 40 kHz 혼과 초음파 용착기를 사용하여 두께 0.1 mm의 Ni 박판을 용착할 때, 용착시간, 용착압력 및 혼의 초음파 진동 진폭 등의 용착조건 변화에 따른 용착부 표면의 온도를 측정하고 그 특성을 고찰하였다.

특정 한 점의 초음파 용착시 용착시간의 경과에 따라 나타나는 용착부의 온도를 측정된 결과 용착압력이 높을 경우에는 용착 초기부터 온도상승이 용착시간에 거의 비례하여 증가하였다. 용착압력이 0.2 MPa 및 0.3 MPa인 두 경우를 비교하면 0.3 MPa일 때 최고 온도가 약 6°C 높았다.

또한, 시간의 경과에 따른 온도 그래프 선의 아랫부분 면적은 0.3 MPa일 때가 더 크다는 것을 알 수 있는데 이는 압력의 증가로 용착에너지가 더 커졌다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

한편, 용착시간이 증가함에 따라 용착부의 표면온도도 거의 비례하여 증가하였다. 또한, 혼의 진폭이 증가할수록 온도도 증가하나 진폭이 80% 이상이 되면 그 차이는 크지 않았다.

용착압력이 클수록 용착온도도 높아지나 용착시간이 0.2 sec 이하일 경우에는 그 영향이 미미한 것으로 나타나며 용착시간 0.25 sec 이후에는 그 차이가 비교적 크게 나타났다.

본 실험은 용착부의 표면온도를 측정된 것으로 실제 용착이 일어나는 상하 시편의 용착부에서는 온도가 훨씬 높을 것으로 추정되나 이를 직접적으로 측정하는 추가 연구가 필요하다.

후 기

이 논문은 2015년도 인천대학교 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Kim, J. H., 2013, KISTI Market Report, KISTI, Korea.
- [2] Kim, E. M., Jang, H. S., Park, D. S., 2010, A Horn of Half-wave Design and Manufacture for Ultrasonic Metal Welding, Journal of the KSMTE, 19:6 790-796.
- [3] Jang, H. S., Park, W. Y., Park, D. S., 2013, Design and Weldability Verification of the 40kHz Horn for Ultrasonic Metal Welding, Journal of the KSMPE, 12:2 55-60.
- [4] Kim, J. H., Jang, H. S., Park, D. S., 2013, Design and Analysis of 20kHz Ultrasonic Metal Welding, The Korean Society of Manufacturing Process Engineers Spring Conference, 127.
- [5] Park, W. Y., Lee, C. H., Park, D. S., 2014, Ultrasonic Horn Design and Weldability in Thin Ni Plates Welding, Advanced Material Research 941-944 2053-2057.
- [6] Jang, H. S., Park, W. Y., Park, D. S., 2011, The Establishment of Bonding Conditions of Cu Using an Ultrasonic metal Welder, Journal of the KSMTE, 20:5 570-575.
- [7] Elangovan, S., Prakasan, K., Jaiganesh, V., 2010, Optimization of Ultrasonic Welding Parameters for Copper to Copper Joints using Design of Experiments, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 51 163-171.
- [8] Elangovan, S., Semeer, S., Prakasan, K., 2009, Temperature and stress distribution in ultrasonic metal welding—An FEA-based study, Journal of Materials Processing Technology, 209 1143-1150.
- [9] Kang, E. J., Min, K. T., 2016, "Temperature Distribution Analysis of Welding Parts in Ultrasonic Welding by Using FEM", Journal of the KSMTE, 25:2 105-111.
- [10] Edgar, D. V., 2004, Mechanics and Mechanisms of Ultrasonic Metal welding, A Thesis for a Doctorate, The Ohio State University, United States of America.